

PERPINDAHAN PANAS PADA AEROPONIK CHAMBER DENGAN APLIKASI ZONE COOLING

E. Sumarni^{1*}, H. Suhardiyanto², K. B. Seminar², S. K. Saptomo³

¹ Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto, Indonesia. Jl. dr. Suparno Karangwangkal Purwokerto.

² Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia. Kampus IPB Darmaga, Bogor

³ Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Kampus IPB Darmaga, Bogor.

*e-mail: arny0879@yahoo.com

ABSTRACT

Energy cooling zone on aeroponics system for seed potato production in the lowland humid tropics can be analyzed based on the principle of heat transfer. Heat transfer occurring radiation, conduction, and convection. From the calculation of electrical load aeroponics system with cooling zone for seed potato production in lowland obtained that the cooling zone temperature of 10°C requires the greatest energy. The amount of electrical energy use on a daily average aeroponic chamber amounted to 0.132 kWh/m² control, a temperature of 15°C for 0590 kWh/m² and a temperature of 20°C for 0439 kWh/m²

Keywords: Cooling zone, seed potato, energy, aeroponics

ABSTRAK

Energi zone cooling pada sistem aeroponik untuk produksi benih kentang di dataran rendah tropika basah dapat dianalisa berdasarkan prinsip pindah panas. Pindah panas terjadi secara radiasi, konduksi, dan konveksi. Dari hasil perhitungan beban listrik sistem aeroponik dengan zone cooling untuk produksi benih kentang di dataran rendah diperoleh bahwa zone cooling suhu 10 °C membutuhkan energi yang paling besar. Besarnya penggunaan energi listrik rata-rata harian pada aeroponic chamber kontrol sebesar 0.132 kWh/m², suhu 15°C sebesar 0.590 kWh/m² dan suhu 20°C sebesar 0.439 kWh/m²

Kata kunci : Cooling zone, benih kentang, energi, aeroponik.

PENDAHULUAN

Suhu udara dan kelembaban relatif di daerah dataran rendah tropika tidak optimal untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman kentang.¹ Kendala utama untuk produksi sayuran di daerah tropis adalah suhu udara yang panas. Stress panas diketahui mempengaruhi pertumbuhan vegetatif dan generatif tanaman. Suhu udara yang berlebihan menyebabkan penutupan stomata dan menurunkan proses transpirasi dan fotosintesis,

namun proses respirasi mengalami peningkatan.² Hal ini berakibat pada produksi biomassa dan laju transport xilem menurun, sehingga berdampak pada penurunan hasil dan kualitas tanaman.³

Kondisi lingkungan di sekitar tanaman perlu di jaga agar selalu mendekati keadaan optimum bagi pertumbuhan tanaman. Kentang (*Solanum tuberosum* L.) adalah tanaman pangan utama di seluruh dunia yang memiliki keberagaman hasil di berbagai daerah.^{4,5} Keberagaman produksi kentang disebabkan oleh curah hujan,⁶ suhu,⁷ dan radiasi⁸ dan CO₂.^{9,10}

Pengendalian suhu udara memerlukan biaya operasional yang besar. Penggunaan *evaporative cooling* untuk pendinginan udara di dalam *greenhouse* tidak efektif pada saat kelembaban udara di luar *greenhouse* tinggi. Hal tersebut karena perbedaan suhu udara bola basah dan bola kering sangat sedikit. Penurunan suhu udara dengan penguapan akan menyebabkan peningkatan kelembaban.¹¹

Zone cooling telah dikembangkan sejak dekade tahun 1990-an sebagai alternatif pengendalian suhu udara di dalam *greenhouse* ketika suhu udara dan kelembaban tinggi.¹² Pada *zone cooling*, penurunan suhu dilakukan terbatas dengan mengalirkan larutan nutrisi yang didinginkan ke daerah perakaran. Hal tersebut bertujuan untuk mempertahankan suhu di daerah perakaran cukup rendah meskipun suhu udara di dalam *greenhouse* tinggi, maka pertumbuhan tanaman akan cukup baik.¹¹ Tanaman tomat dengan suhu rendah daerah perakaran pada tingkat 21 sampai 23°C dapat tumbuh jauh lebih baik dibandingkan dengan yang berada pada suhu 25 sampai 27°C. dalam budidaya tanaman secara hidroponik, pendinginan larutan nutrisi lebih tepat dibandingkan dengan pendinginan udara. Tujuan penelitian ini adalah menghitung beban panas dan energi pada masing-masing *aeroponic chamber* dengan aplikasi *zone cooling*.

METODOLOGI

Beban energi *zone cooling* yang diberikan pada sistem aeroponik untuk produksi benih kentang di dataran rendah tropika basah dihitung berdasarkan pindah panas. Peristiwa pindah panas terjadi karena perpindahan energi dari satu daerah ke daerah lainnya akibat perbedaan suhu. Pindah panas terjadi secara radiasi, konduksi, dan konveksi. *Aeroponic chamber* yang digunakan di dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1. Persamaan sederhana berdasarkan Hukum I Termodinamika pada *aeroponic chamber* dapat disampaikan sebagai berikut:

$$Q = UA\Delta T \quad (1)$$

$$Q = Q_{\text{pipa}} + Q_{\text{chatas}} + Q_{\text{chbawah}} + Q_{\text{ch kiri}} + Q_{\text{ch kanan}} + Q_{\text{ch depan}} + Q_{\text{ch blkg}} \quad (2)$$

Keterangan:

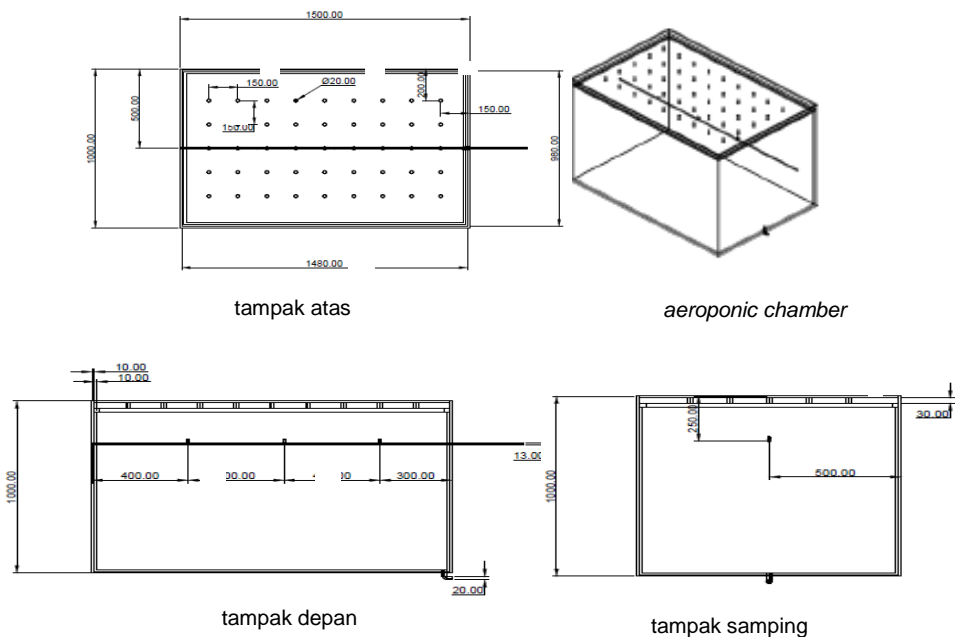
ΔT : Perubahan suhu di sistem (°C)

Q_{pipa} : Pindah panas di pipa lateral dalam *chamber* (W)

- Q_{sty} : Pindah panas yang melalui *styrofoam* (W)
 Q_m : Pindah panas yang melalui multiplek (W)
 U : Koefisien perpindahan kalor menyeluruh/*overall* ($Wm^{-2}C^{-1}$)
 A : Luas permukaan sistem (m^2)
 $Q_{ch\ atas}$: Pindah panas dari udara luar ke udara dalam melalui dinding atas *chamber* (W)
 $Q_{ch\ bawah}$: Pindah panas dari udara luar ke udara dalam melalui dinding sisi bawah *chamber* (W)
 $Q_{ch\ kanan}$: Pindah panas dari udara luar ke udara dalam melalui dinding sisi kanan *chamber* (W)
 $Q_{ch\ kiri}$: Pindah panas dari udara luar ke udara dalam melalui dinding sisi kiri *chamber* (W)
 $Q_{ch\ depan}$: Pindah panas dari udara luar ke udara dalam melalui dinding sisi depan *chamber* (W)
 $Q_{ch\ blknng}$: Pindah panas dari udara luar ke udara dalam melalui dinding sisi belakang *chamber* (W)

Pindah panas pada *aeroponic chamber* terjadi secara konveksi dan konduksi melalui dua lapisan, yaitu multiplek dan *styrofoam*. Nilai pindah panas setiap sisi *chamber* digunakan persamaan konveksi udara *greenhouse* yang melalui multiplek kemudian konveksi udara dalam *chamber*, serta konduksi antara multiplek dan *styrofoam*. Koefisien konveksi antara *chamber* dan udara diperoleh dengan persamaan berikut:

$$h = \frac{k}{L_c} Nu \quad (3)$$

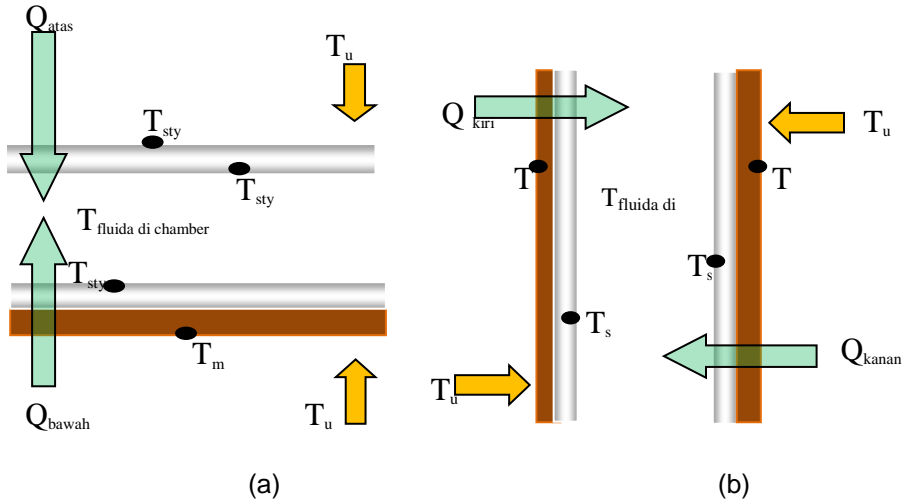


Gambar 1 *Aeroponic chamber* tampak atas, depan dan samping yang digunakan di dalam penelitian ini

Bilangan Nusselt (Nu) diperoleh berdasarkan pada bentuk dinding (vertikal atau horizontal) dan nilai GrPr (bilangan Grashof-Prandtl) dari setiap sisi chamber. Proses pindah panas dalam chamber disajikan pada Gambar 2. Persamaan tersebut dapat ditulis sebagai berikut.^{13,14}

$$Nu = C(Gr Pr)^n \quad (4)$$

$$Gr Pr = \frac{g\beta\Delta TLc^3}{\nu^2} Pr \quad (5)$$



Gambar 2 Proses pindah panas pada *aeroponic chamber* (a) arah vertikal, (b) arah horizontal

Laju pindah panas pada *chamber*.^{15,13}

- 1) Laju panas secara vertikal :
Sisi atas (dinding *styrofoam*) :

$$U_{ch} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{ul}}\right) + \left(\frac{x_{sty}}{k_{sty}}\right) + \left(\frac{1}{h_{ud}}\right)} \quad (6)$$

- 2) Laju panas secara horizontal: sisi kanan, kiri, depan, dan belakang *chamber* mempunyai lapisan dinding yang sama, yaitu multiplek dan *styrofoam* sehingga persamaan laju pindah panas secara horizontal sama dengan persamaan (7).

$$U_{ch} = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{ul}}\right) + \left(\frac{x_{sty}}{k_{sty}}\right) + \left(\frac{x_m}{k_m}\right)\left(\frac{1}{h_{ud}}\right)} \quad (7)$$

Besarnya koefisien konveksi udara yang melalui pipa dapat diperoleh menggunakan persamaan berikut :

$$h = \frac{k}{D} Nu \quad (8)$$

Perpindahan panas overall dari pipa menggunakan persamaan :

$$U_{pipa} = \frac{1}{\left(\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_a}\right) + \left(\frac{A_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)}{2\pi k L}\right) + \left(\frac{1}{h_u}\right)} \quad (9)$$

Keterangan:

- h : Koefisien konveksi ($Wm^{-20}C^{-1}$)
- k : Konduktivitas termal ($Wm^{-10}C^{-1}$)
- Lc : Luas terbasahkan (m)
- Nu : Bilangan Nusselt
- C : Konstanta
- GrPr : Bilangan Grashof-Prandtl
- g : Percepatan gravitasi (ms^{-2})
- β : Bilangan biot
- v : Viskositas kinematik (m^2s^{-1})
- h_{ul} : Koefisien konveksi udara luar *chamber* ($Wm^{-10}C^{-1}$)
- x_{sty} : Tebal *styrofoam* (m)
- k_{sty} : Konduktivitas termal *styrofoam* ($Wm^{-10}C^{-1}$)
- h_{ud} : Koefisien konveksi udara dalam *chamber* ($Wm^{-10}C^{-1}$)
- x_m : Tebal multiplek (m)
- k_m : Konduktivitas termal multiplek ($Wm^{-10}C^{-1}$)
- Re : Bilangan Reynold
- Dh : Diameter hidrolis (m)
- L : Panjang pipa (m)
- A_o : Luas pipa bagian luar (m^2)
- A_i : Luas pipa bagian dalam (m^2)
- h_a : Koefisien konveksi air ($Wm^{-20}C^{-1}$)
- r_o : Jari-jari pipa bagian luar (m)
- r_i : Jari-jari pipa bagian dalam (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan persamaan-persamaan kesetimbangan panas maka dapat diketahui nilai kalor masing-masing bagian di dalam *chamber* dengan asumsi jumlah air yang digunakan (terserap tanaman) pada masing-masing *zone cooling*, pindah panas yang terjadi adalah konduksi dan konveksi, sistem *steady state*, kecepatan angin di dalam *greenhouse* seragam, perpindahan panas pada tanaman belum dimasukkan pada analisis beban panas ini. Perpindahan panas terjadi karena adanya perubahan suhu antara sistem (fluida/material) dengan lingkungan melalui penyerapan panas dan pelepasan panas. Penyerapan panas terjadi jika suhu sistem lebih rendah daripada suhu lingkungan, proses yang terjadi adalah penyerapan panas. Pelepasan panas terjadi jika suhu sistem lebih tinggi daripada suhu lingkungan.

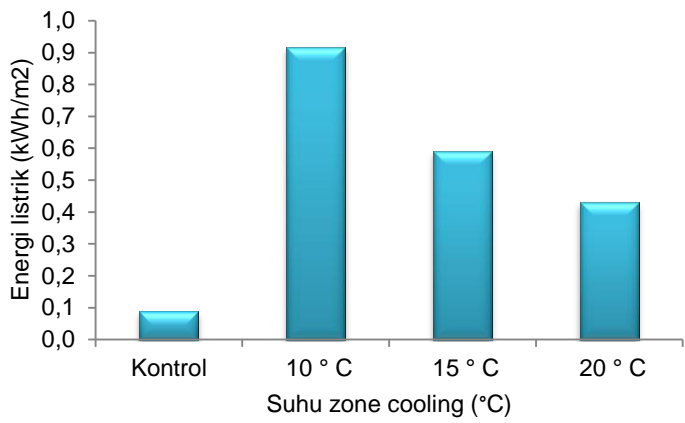
Beban panas pada sisi *chamber* dapat disebabkan oleh perbedaan suhu di sekitar bahan, arah radiasi matahari masuk, aliran panas pada bahan insulasi dan adanya material-material disekitar *chamber* yang dapat menimbulkan panas. Tabel 4.1 menunjukkan bahwa bagian *chamber* yang memberikan panas besar adalah bagian depan *chamber*. Pindah panas pada bagian depan *chamber* kontrol adalah sebesar 1.676 Wm^{-2} , *chamber* 10°C sebesar 11.176 Wm^{-2} , *chamber* 15°C sebesar 7.662 Wm^{-2} dan *chamber* 20°C sebesar 5.097 Wm^{-2} . Hal tersebut terjadi karena pada bagian depan *chamber* dipengaruhi oleh udara panas di dalam *greenhouse* dan panas yang keluar dari bagian pembuangan *chiller* (mesin pendingin). Penyiraman nutrisi pada penelitian ini menggunakan aturan penyiraman sebagai berikut : pada siang hari pompa menyala 16 menit sekali dan off selama 2.5 menit. Pada malam hari pompa menyala selama 13 menit sekali dan off selama 10 menit. Besarnya beban listrik yang dihasilkan dari masing-masing *chamber zone cooling* dan kontrol disajikan juga pada Tabel 1.

Styrofoam memiliki karakteristik sebagai isolator yang baik. Hal tersebut menyebabkan panas yang diserap multiplek dari udara di dalam *greenhouse* dihambat masuk ke dalam *chamber*. Multiplek (kayu) dan *styrofoam* merupakan bahan isolator yang masing-masing memiliki konduktivitas termal $0.144 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ dan $0.050 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ sehingga udara dari *greenhouse* tidak seluruhnya diserap oleh *chamber*. Nilai konduktivitas termal yang semakin besar berarti semakin banyak panas yang dapat terserap oleh bahan, dan sebaliknya. Hasil perhitungan beban panas pada masing-masing sisi *chamber* berbeda-beda.

Suhu *zone cooling* 10°C membutuhkan energi yang paling besar yaitu 0.917 kWhm^{-2} . Besarnya penggunaan energi listrik rata-rata harian pada aeroponik *chamber* kontrol sebesar 0.132 kWhm^{-2} , suhu 15°C sebesar 0.590 kWhm^{-2} dan suhu 20°C sebesar 0.439 kWhm^{-2} .¹⁶ Konsumsi energi listrik dalam satu hari dari masing-masing *zone cooling* dan *chamber* kontrol disajikan pada Gambar 3.

Tabel 1 Pindah panas total dan energi listrik dari masing-masing aplikasi *zone cooling*

Chamber	Pindah Panas (Wm ⁻²)			
	Kontrol	10°C	15°C	20°C
Sis depan	1.676	11.176	7.662	5.097
Sisi belakang	1.630	11.029	7.310	4.848
Sisi kiri	1.759	10.156	6.379	4.502
Sisi kanan	1.487	10.418	6.389	5.600
Sisi atas	0.456	7.829	4.958	3.821
Sisi bawah	0.688	2.754	1.646	1.652
Pipa	0.067	0.094	0.063	0.080
Total Energi	7.683	53.457	34.407	25.600
Total Energi dalam kWh/m ²	0.132	0.917	0.590	0.439



Gambar 3 Konsumsi energi listrik dari masing-masing suhu *zone cooling* tanaman kentang

Kultivar Granola dapat dipanen pada umur 90-100 hari. Dari hasil perhitungan konsumsi energi listrik dapat diketahui biaya listrik untuk produksi benih kentang di dataran rendah secara aeroponik dengan *zone cooling*. Perkiraan beban listrik satu musim panen untuk *zone cooling* 10°C, luasan 100 m² mencapai 8 253 kWh.

SIMPULAN

Dari hasil perhitungan beban listrik sistem aeroponik dengan *zone cooling* untuk produksi benih kentang di dataran rendah diperoleh bahwa *zone cooling* suhu 10°C membutuhkan energi yang paling besar yaitu 0.917 kWh/m². Besarnya penggunaan energi listrik rata-rata harian pada *aeroponic chamber* kontrol sebesar 0.132 kWh/m², suhu 15°C sebesar 0.590 kWh/m² dan suhu 20°C sebesar 0.439 kWh/m².

DAFTAR PUSTAKA

1. Benz J.S, Keller E.R, Midmore D.J. Planting materials for warm tropic potato production: growth and yield of transplanted seedlings or rooted cuttings and tuber materials in the field. *Field Crops Research*. 1995. 40:179-192.
2. Morales D, Rodriguez, P, Dell'Amico, Nicolas J, Torrecillas EA, Sanchez-Blanco MJ. High-temperature preconditioning and thermal shock imposition affects water relations, gas exchange and root hydraulic conductivity in Tomato. *Biol. Planta*. 2003. 47: 6–12.
3. Adams P, Ho LC. Effects of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and on the incidence of blossom-end rot. *Plant Soil*.1993. 154:127-132.
4. Haverkort AJ. Ecology of potato cropping systems in relation to latitude and altitude. *Agricultural Systems*. 1990. 32(3): 251–272.
5. Scott G.M., Richardson P. The application of computational fluid dynamics in the food industry. *Trends in Food Science and Technology*. 1997. 8(4): 119e124.
6. Dalla Costa L, Delle Vedove, Gianquinto G, Giovanardi R, Peressotti A. Yield, water use efficiency and nitrogen uptake in potato: influence of drought stress. *Potato Research*. 1997. 40(1): 19–34.
7. Kooman PL, Fahem M, Tegera P, Haverkort AJ. Effects of climate on different potato genotypes 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. *European Journal of Agronomy*. 1996a. 5(3–4):207-217.
8. Kooman PL, Fahem M, Tegera P, Haverkort AJ. Effects of climate on different potato genotypes 1. Radiation interception, total and tuber dry matter production. *European Journal of Agronomy*. 1996b. 5(3-4):193-205.
9. Miglietta F, Magliulo V, Bindi M, Cerio L, Vaccari FP, Loduca V, Peressotti A. Free air CO₂ enrichment of potato (*Solanum tuberosum* L.): development, growth and yield. *Global Change Biology*. 1998. 4 (2): 163–172.
10. Taub DR, Miller B, Allen H. Effects of elevated CO₂ on the protein concentration of food crops: a meta-analysis. *Global Change Biology*. 2008. 14 (3): 565-575.
11. Suhardiyanto H. Teknologi rumah tanaman untuk iklim tropika basah. IPB Press. 2009. Bogor.
12. Suhardiyanto H, Matsuoka T. Uniformity of cool air discharge along the perforated tube for zone cooling in a greenhouse. *Environmental Control in Biology*. 1994. 32(1):9-16.
13. Lienhard JH. A heat transfer textbook. Third Edition. Cambridge, MA. Phlogiston Press. 2008. Massachusetts.
14. Eckert ERG, Soehngen. Interferometric Studies on the Stability and Transition to Turbulence of a Free Convection Boundary Layer. *Proc. Gen. Discuss Heat Transfer ASME-IME*, 1951, London.
15. McAdams WH. Heat transmission. 3rd edition. McGraw Hill Book Company, Inc. New York.
16. Sumarni, E. Pengembangan *zone cooling system* untuk produksi benih kentang secara aeroponik di dataran rendah tropika basah, 2013. Bogor.